

(19) KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE (KR)

(12) Patent Publication (B1)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup> (45) Publication Date June 21, 2005

G02B 27/18 (11) Patent No. 10-0474578

(24) Registration Date February 23, 2005

(21) Filing No. 10-1996-0014546

(22) Filing Date April 30, 1996

(65) Laid open No. 10-1997-0002481

(43) Laid open Date January 24, 1997

(30) Priority Data Japanese Application No. 1995-157812  
June 23, 1995

(73) Patentee Nikon Corporation

(72) Inventor Tanitsu, Osamu  
2-3, Marunouchi 3-chome Chiyoda-ku, Tokyo,  
Japan

(74) Attorney Chang-se; Kim

(54) Exposure apparatus and manufacturing method thereof,  
illumination optical apparatus and manufacturing method  
thereof, exposing method, manufacturing method of illumination  
optical system, and manufacturing method of semiconductor  
device

ABSTRACT

The object of the present invention is to provide an exposure  
apparatus which can prevent optical members in its illumination

optical system from deteriorating even when irradiating a mask with exposure light for a long period, so that a stable exposure operation can be realized over a long period.

The exposure apparatus in accordance with the present invention comprises a light source for supplying light with a predetermined wavelength and an illumination optical system for guiding the light from the light source onto a mask formed with a predetermined pattern. The illumination optical system includes a plurality of light-transmitting optical members which transmit therethrough the light from the light source, while at least one of the plurality of light-transmitting optical members is comprised of fluorite.

#### REPRESENTATIVE DRAWING

FIG. 1A

#### SPECIFICATION

#### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

FIG. 1A is a configurational view showing the exposure apparatus in accordance with an embodiment of the present invention;

FIG. 1B is a configurational view showing the exposure apparatus in accordance with the embodiment of the present invention observed from a lateral direction;

FIG. 2A is a schematic view showing a first multiple light source image forming means shown in FIGS. 1A and 1B;

FIG. 2B is a schematic view showing a second multiple light source image forming means shown in FIGS. 1A and 1B;

FIG. 3 is a configurational view showing a conventional exposure apparatus.

<Description of reference numerals of principal elements in the drawings>

- 10: excimer laser
- 20: beam forming optical system
- 21: first relay optical system
- 30, 50: optical integrator
- 40: second relay optical system
- 60: condenser optical system
- AS: aperture stop
- PL: projection optical system

#### DETAILED DESCRIPTION

Object of the Invention

Field of the Invention and Related Background Art

The present invention relates to an exposure apparatus which transfers a predetermined mask pattern onto a photosensitive substrate and, in particular, to an exposure apparatus using an ultraviolet light source suitable for manufacturing semiconductors.

Conventionally, an exposure apparatus such as that schematically shown in FIG. 3 has been known for making semiconductors. As shown in FIG. 3A, a luminous flux from a light source 1 such as a mercury arc lamp is converged by an ellipsoidal mirror 2 and then converted into a parallel luminous flux by a collimator lens 3. The parallel luminous flux then passes through a flyeye lens 4 composed of an assembly of lens elements 4a each having a quadrangular cross section as shown in FIG. 3B or 3C, thereby forming a plurality of light source images on its exit side. An aperture stop 5 having a circular opening is disposed at this light source image position. The luminous fluxes from the plurality of light source images are converged by a condenser lens 6 so as to uniformly illuminate a mask M, which is an object to be illuminated, in a superposing manner.

In the illumination optical apparatus thus configured, by means of a projection optical system 7 composed of lenses 71 and 72, a circuit pattern on the mask M is transferred onto a wafer W which is coated with a resist. This wafer W is mounted on a wafer stage WS which is two-dimensionally movable. The exposure

apparatus of FIG. 3A performs a so-called step-and-repeat type exposure operation in which, when an exposure operation for one shot area is completed, the wafer stage WS is successively moved in a two-dimensional manner so as to be repositioned for an exposure operation for the next shot area.

Also, in recent years, there has been proposed a scanning exposure technique in which the mask M is irradiated with a rectangular or arc-like luminous flux, while the mask M and the wafer W which are disposed so as to be conjugate with each other with respect to a projection optical system are scanned in a predetermined direction, in order to transfer the circuit pattern of the mask M onto the wafer W under a high throughput.

In recent years, the output wavelength of the exposure light source has been shortened in order to transfer a finer mask pattern onto the wafer surface. For example, in a so-called projection type exposure apparatus which transfers, by way of a projection optical system, a mask pattern onto a wafer coated with a resist, the resolution of the projection optical system can be improved as the output wavelength of the exposure light source becomes shorter.

When a light source which outputs exposure light of a shorter wavelength such as a pulse light source emitting ultraviolet rays is used, since the wavelength of the emitted light is in the ultraviolet region, quartz glass is used in general as an optical glass material (referred to as "glass material"

hereinafter) for transmitting the ultraviolet rays therethrough because it can be processed as easily as materials which can transmit visible rays therethrough.

However, light sources emitting ultraviolet rays such as pulse oscillation light sources for ultraviolet rays have a high output. In particular, in an illumination optical system for an exposure apparatus which guides a luminous flux from such a light source to a mask, there is a position where the diameter of the luminous flux becomes small thereby increasing the energy density at this position such that considerable damage may be imparted to the quartz glass of the illumination optical system. As the wavelength of the light source becomes shorter, the energy further increases so as to cause a greater damage to the quartz glass. Accordingly, the durability of the quartz glass may be problematic.

Also, there has been a demand for increasing the number of substrates such as wafer which are processed per hour in the exposure apparatus for improving the throughput thereof. The power of the light source may be raised in order to effectively increase the illuminance on a substrate such as a wafer, however a higher energy density is therefore imparted to the quartz glass placed at a position where the diameter of the luminous flux is minimized. Accordingly, the durability of the quartz glass may become further problematic.

In view of the foregoing, the object of the present invention

is to provide an exposure apparatus which can prevent optical members in its illumination optical system from deteriorating even when irradiating a mask with exposure light for a long period, so that a stable exposure operation can be realized over a long period.

The exposure apparatus in accordance with the present invention comprises a light source for supplying light with a predetermined wavelength and an illumination optical system for guiding the light from the light source onto a mask formed with a predetermined pattern. The illumination optical system includes a plurality of light-transmitting optical members which transmit therethrough the light from the light source, while at least one of the plurality of light-transmitting optical members is comprised of fluorite.

From the above configuration, the illumination optical system may comprise a multiple light source forming means for forming a plurality of light sources based on the light of the light source, and a condenser optical system for converging the lights from the plurality of light sources formed by the multiple light source forming means and illuminating the mask in a superposing manner. Further, from the above configuration, the illumination optical system may comprise multiple light sources generating means for generating multiple light sources based on the light of the light source, a condenser optical system for focusing the lights from the multiple light sources generated by the multiple light sources generating means and

illuminating an object to be illuminated in a superposing manner, and a light-guiding optical system for guiding the light from the light source to the multiple light source forming means.

Further, the light source means is preferably a light source generating pulsed light, and, in such case, (Condition 1)  $A_B < E_s / [25 \text{ mJ/cm}^2]$  is preferably satisfied, wherein  $E_s$  (mJ) is the optical energy per pulse of pulse-like light from the light source means incident on light-transmitting optical member comprised of fluorite, and  $A_B$  ( $\text{cm}^2$ ) is the cross-sectional area of the luminous flux transmitted through the light-transmitting optical member comprised of fluorite.

In particular, the light source is preferably an excimer laser.

In the present invention, because a physical property of fluorite is that it has a high durability with respect to a high energy density, it has been found that, according to the configuration mentioned above, optical members in the illumination optical system can be prevented from deteriorating even when the mask is irradiated with exposure light for a long period, whereby a stable exposure operation can be realized over a long period.

In particular, in conjunction with a technique for determining fluorite as a member to be used in the illumination optical system of the exposure apparatus, the energy density of a



luminous flux irradiating an optical member may be calculated beforehand at the step in which the illumination optical system is designed according to this technique, since the energy density of the luminous flux irradiating the optical member can be determined by the ratio of its area to that of the original luminous flux from the light source. In this case, the fluorite is desirably subjected to an irradiation test beforehand so as to determine its durability. More desirably, based on the result of the prior calculation and the assumption of the total irradiation time, the illumination optical system may be designed such that fluorite is used at a position where the energy density is high.

In view of the foregoing, as a result of various kinds of simulation and various kinds of tests using light sources supplying pulsed light, the inventor has found that, in an illumination optical system, an optical member disposed at a position at which the cross-sectional area of the luminous flux transmitted therethrough satisfies the following relationship is preferably comprised of fluorite: (Condition 1)  $A_B < E_s / [25 \text{ mJ/cm}^2]$ , wherein  $E_s$  (mJ) is the optical energy per pulse of pulse-like light incident on light-transmitting optical member comprising the illumination optical system, and  $A_B$  (cm<sup>2</sup>) is the cross-sectional area of the luminous flux transmitted through light-transmitting optical member in the illumination optical system. Consequently, it becomes possible to eliminate the problem of there being a position where the luminous flux diameter becomes smaller thereby increasing the energy density

at this position so as to cause a damage to the optical member comprising the illumination optical system. Thus, an apparatus which is excellent in durability can be secured.

While the above-mentioned condition (1) is desirably satisfied in order for the illumination optical system of the exposure apparatus to have a durability, the durability of the whole illumination system can be further improved when not only the optical member at the position satisfying the above-mentioned condition (1) but also optical members at other positions are comprised of fluorite so that the whole illumination system is comprised of fluorite.

#### DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

FIGS. 1A and 1B show configurations of the exposure apparatus for manufacturing semiconductors in accordance with an embodiment of the present invention. FIG. 1A is a view showing the configuration of the apparatus in accordance with this embodiment observed from vertically thereabove, whereas FIG. 1B shows a cross-sectional configuration of the apparatus shown in FIG. 1A observed from a lateral direction. In the following, this embodiment will be explained in detail with reference to FIGS. 1A and 1B.

As shown in FIG. 1, from a light source 10 such as an excimer laser supplying light with a predetermined wavelength, a substantially parallel luminous flux having such a wavelength

as 222 nm (KrCl), 248 nm (KrF), 192 nm (ArF), or 157 nm (F<sub>2</sub>) is output with a rectangular cross section. This parallel luminous flux from the light source 10 is made incident on a beam shaping optical system 20 of a light guiding optical system that also includes a relay optical system 21. The beam shaping optical system 20 functions as a luminous flux shaping section for shaping the input luminous flux into a luminous flux having a predetermined cross section. This beam shaping optical system 20 is composed of two cylindrical lenses 20A and 20B each of which has a refractive power in a direction perpendicular to the paper surface of FIG. 1A (i.e., in the paper surface direction of FIG. 1B). The cylindrical lens 20A on the light source side has a negative refractive power so as to cause the luminous flux in the paper surface direction of FIG. 1B to diverge, whereas the cylindrical lens 20B on the illuminated surface side has a positive refractive power so as to converge the divergent luminous flux from the cylindrical lens 20A into a parallel luminous flux. Accordingly, by way of the beam shaping optical system 20, the parallel luminous flux from the light source 10 is shaped such that its width in the paper surface direction of FIG. 1B is enlarged so as to render a rectangular cross section with a predetermined size. As the beam shaping optical system 20, a combination of cylindrical lenses each having a positive refractive power, an anamorphic prism, or the like may also be used.

Thus shaped luminous flux from the beam shaping optical system 20 is made incident on the relay optical system 21 of the light

guiding optical system, which may also be referred to as the first relay optical system of the exposure apparatus. Here, the first relay optical system 21 has a front group with a positive refractive power composed of two positive lenses 21A and 21B and a rear group with a positive refractive power composed of two positive lenses 21C and 21D. The front group comprising the lenses 21A and 21B of the first relay optical system 21 forms a convergence point (light source image) I at the mask side (rear-side) focal point of this front group, whereas the rear group comprising the lenses 21C and 21D of the first relay optical system 21 is disposed such that its light source side (front-side) focal point coincides with the rear-side focal point of the front group. Also, this first relay optical system 21 has a function to make the exit surface of the light source 10 conjugate with the inlet surface of an optical integrator 30 acting as a first multiple light source forming subsystem of a multiple light source forming system, which will be explained later. Due to this function of the first relay optical system 21, the fluctuation of the luminous flux illuminating the optical integrator 30 caused by an angular fluctuation of the light from the light source 10 is corrected, whereby the tolerance with respect to the angular fluctuation in the light from the light source 10 is increased. Here, a light-guiding optical system for guiding the light from the light source 10 to the first multiple light source forming subsystem in this embodiment is constituted by the beam shaping optical system 20 and the first relay optical system 21.

By way of the first relay optical system 21, the luminous flux is made incident on the optical integrator 30 which acts as a first multiple light source forming subsystem of a multiple light source forming system for forming a plurality of light source images linearly arranged in three rows. As shown in FIG. 2A, this optical integrator 30 is comprised of a plurality (3 rows x 9 columns=27 pieces) of biconvex lens elements 30a each having a substantially square form, whereby the optical integrator 30 as a whole has a rectangular cross section. In each of the biconvex lens element 30a, the curvature (refractive power) in the paper surface direction of FIG. 1A and that in the paper surface direction of FIG. 1B are equal to each other.

Accordingly, the parallel luminous flux passing through each lens element 30a comprising the optical integrator 30 is converged so as to form a light source image on the exit side of the corresponding lens element 30a. Consequently, at an exit-surface position  $A_1$  of the optical integrator 30, a plurality (3 rows x 9 columns=27 pieces) of light source images corresponding to the number of the lens elements 30a are formed, whereby secondary light sources are substantially formed here.

The luminous fluxes from the plurality of secondary light sources formed by the optical integrator 30 are converged by a second relay optical system 40 of the multiple light source forming system that may also be referred to as a second relay

optical system of the exposure apparatus, and then made incident on an optical integrator 50 which acts as a second multiple light source forming subsystem of a multiple light source forming system for forming a plurality of light source images.

As shown in FIG. 2B, this optical integrator 50 is comprised of a plurality (9 rows x 3 columns=27 pieces) of biconvex lens elements 50a each having a rectangular form whose cross-sectional form (aspect ratio) is similar to that of the optical integrator 30. The optical integrator 50 as a whole has a square cross section. In each of the lens element 50a, the curvature (refractive power) in the paper surface direction of FIG. 1A and that in the paper surface direction of FIG. 1B equal to each other.

Accordingly, the parallel luminous flux from the optical integrator 30 passing through each lens element 50a comprising the optical integrator 50 is converged so as to form a light source image on the exit side of the corresponding lens element 50a. Consequently, at an exit-surface position A.sub.2 of the optical integrator 50, a plurality of light source images arranged in a square are formed, whereby tertiary light sources are substantially formed here.

Here, assuming that the number of the lens elements 30a comprising the optical integrator 30 is N and that the number of the lens elements 50a comprising the optical integrator 50

is  $M$ ,  $N \times M$  pieces of light source images arranged in a square are formed by the optical integrator 50. Namely, since the plurality of light source images formed by the optical integrator 30 are formed at the light-source image position of each lens element 50a comprising the optical integrator 50 by means of the relay optical system 40,  $N \times M$  pieces of light source images in total are formed at the exit-surface position  $A_2$  of the optical integrator 50.

Here, the second relay optical system 40 makes an inlet-surface position  $B_1$  of the optical integrator 30 and an inlet-surface position  $B_2$  of the optical integrator 50 conjugate with each other, while making the exit-surface position  $A_1$  of the optical integrator 30 and the exit-surface position  $A_2$  of the optical integrator 50 conjugate with each other.

At or near the position  $A_2$  where the tertiary light sources are formed, an aperture stop AS having an opening with a predetermined form is disposed. The luminous fluxes from the tertiary light sources, which are shaped into a circular form by this aperture stop AS, are converged by a condenser optical system 60 acting as a convergent optical system so as to uniformly illuminate a mask  $M$ , which is an object to be illuminated, in a slit-like form (rectangular form having a long side and a short side) from thereabove.

The mask  $M$  is held by a mask stage MS, whereas a wafer  $w$  is held by a wafer stage WS. The mask  $M$  held by the mask stage MS

and the wafer W mounted on the wafer stage WS are disposed so as to be conjugate with each other with respect to a projection optical system PL, whereby a pattern such as a circuit pattern portion of the mask M illuminated like a slit is projected onto the wafer w by the projection optical system PL.

In an actual exposure operation according to the foregoing configuration, the mask stage MS and the wafer W are moved in respective directions opposite to each other as indicated by arrows in FIG. 1B, whereby the circuit pattern on the mask M is transferred onto the wafer W.

In the following, the lens configuration in the illumination optical system in accordance with this embodiment will be explained in detail.

In the embodiment shown in FIGS. 1A and 1B, the position at which the energy density becomes considerably high when the luminous flux from the light source 10 such as an excimer laser is projected within the first relay optical system 21. It is due to the fact that, as the energy density is inversely proportional to the cross-sectional area of the luminous flux, the energy density becomes higher at a lens element on which light having a smaller luminous flux diameter is incident. Accordingly, since the convergence point (light source image) I for the whole luminous flux from the light source 10 is formed in the optical path between the front group (composed of the lenses 21A and 21B) and the rear group (composed of the lenses



21C and 21D) in the first relay optical system 21, the energy density becomes considerably high at the positive lens 21B in the front group and the positive lens 21C in the rear group where the cross-sectional area of the luminous flux is smaller.

In an example for explaining this embodiment in terms of specific values, the light source 10 supplies output light having an optical cross-sectional area of  $1.25 \text{ cm}^2$  and an optical energy per pulse  $E_s$  of 10 mJ, the beam shaping optical system 20 has an enlarging magnification of 1.6, and each of the front group (composed of the lenses 21A and 21B) and rear group (composed of the lenses 21C and 21D) in the first relay optical system 21 has a focal length of 100 mm such that the first relay optical system 21 is formed by a same-magnification system. Also, the positive lens 21B is disposed at a position which is displaced on the light source side by 43.6 mm from the position of the light source image I formed by the front group, whereas the positive lens 21C is disposed at a position which is displaced on the mask side by 43.6 mm from the position of the light source image I formed by the front group. In this case, the cross-sectional area of the luminous flux transmitted through the beam shaping optical system 20 is  $2.0 \text{ cm}^2$ , the luminous flux passing through the positive lens 21B has a cross-sectional area  $A_{B1}$  of  $0.38 \text{ cm}^2$ , and the luminous flux passing through the positive lens 21C has a cross-sectional area  $A_{B2}$  of  $0.38 \text{ cm}^2$ . Here, since there is no substantial loss in optical quantity of the light from the light source 10 passing through the beam shaping optical system 20 and first

relay optical system 21, the optical energy  $E_s$  is 10 mJ when the light is incident on any of the positive lenses 21B and 21C. Accordingly, from the above-mentioned example of values, it can be understood that both the positive lens 21B in the front group and the positive lens 21C in the rear group in the first relay optical system 21 satisfy the above-mentioned condition (1). Thus, as the positive lenses 21B and 21C which yield the cross-sectional area of the luminous flux satisfying the above-mentioned condition (1) are comprised of fluorite, this embodiment realizes a configuration which is excellent in durability.

While the positive lens 21B in the front group and the positive lens 21C in the rear group in the first relay optical system 21 are comprised of fluorite in this embodiment, the first relay optical system 21 may be comprised of a larger number of lenses in order to attain more sufficient correction of aberration. In this case, due to spatial restriction, a plurality of lenses must be disposed near the convergence point I at which the energy density becomes high. Accordingly, all the lenses positioned near this convergence point I are comprised of fluorite.

Thus, in FIG. 1A where the energy density is considerably high, while the positive lens 21B in the front group and the positive lens 21C in the rear group in the first relay optical system 21 are comprised of fluorite, it is needless to mention that all the optical members such as lens at positions satisfying the

above-mentioned condition (1) are preferably comprised of fluorite.

Also, not only the first relay optical system 21 but also other high-energy portions such as optical integrators 30 and 50 preferably use fluorite. Further, in the case where an excimer laser which oscillates light with a higher output is used as the light source 10, the durability of the apparatus can be increased when the whole illumination system is comprised of fluorite.

Though the foregoing embodiment shows an example in which a part of lenses constituting the first relay optical system 21 is comprised of fluorite, lenses constituting the optical integrator 4 and condenser optical system 60 of the illumination optical system shown in FIG. 3A equipped with neither the beam shaping optical system 20 nor the first relay optical system 21 may be comprised of fluorite. Also in this case, the above-mentioned condition (1) is preferably satisfied. In this case, since the respective luminous fluxes incident on the optical integrator 4 and the condenser optical system 60 may lose their optical quantity due to eclipse or the like, the optical energy  $E_s$  in the above-mentioned condition (1) should represent the respective optical energies incident on the optical integrator 4 and the condenser optical system 60.

While the foregoing embodiment shows an example of a step scan type exposure apparatus, the durability of the illumination

system in a collective exposure type exposure apparatus can also be improved when fluorite is used at a portion where the energy density is high.

Also, though the above-mentioned embodiment uses an excimer laser as the light source 10, a light source in which a higher harmonic wave is used in conjunction with a solid-state laser to yield a wavelength of 250 nm or shorter, for example, may also be employed as the light source.

As explained in the foregoing, the present invention can realize an exposure apparatus which is excellent in durability and capable of preventing optical members in its illumination optical system from deteriorating even when irradiating a mask with high-output exposure light for a long period, so that a stable exposure operation can be realized over a long period. Also, even when a light source having a higher output is used, it is possible to realize an exposure operation which can maintain a high throughput while preventing the optical members in the illumination optical system of the exposure apparatus from deteriorating.

#### (57) CLAIMS

1. An exposure apparatus comprising:  
a light source for supplying light having a predetermined wavelength; and

an illumination optical system disposed in a light path formed by said light source for guiding light from said light source onto a mask formed with a predetermined pattern to expose said pattern of the mask onto a photosensitive substrate, said illumination optical system including a plurality of light-transmitting optical members which transmit therethrough the light from said light source, at least one of the plurality of light-transmitting optical members being comprised of fluorite, said at least one light-transmitting optical member being located at a position where energy density is high to impart durability.

2. An exposure apparatus comprising:

a light source for supplying light having a predetermined wavelength; and

an illumination optical system disposed in a light path formed by said light source for guiding light from said light source onto a mask formed with a predetermined pattern to expose said pattern of the mask onto a photosensitive substrate, said illumination optical system including a plurality of light-transmitting optical members which transmit therethrough the light from said light source, at least one of the plurality of light-transmitting optical members being comprised of fluorite, said at least one light-transmitting optical member being located at a position where energy density is high to impart durability and near a convergence point of the illumination optical system.

3. An exposure apparatus comprising:

a light source for supplying light having a predetermined wavelength; and

an illumination optical system disposed in a light path formed by said light source for guiding light from said light source onto a mask formed with a predetermined pattern to expose said pattern of the mask onto a photosensitive substrate, said illumination optical system including a plurality of light-transmitting optical members which transmit therethrough the light from said light source, at least one of the plurality of light-transmitting optical members being comprised of fluorite, said at least one light-transmitting optical member being located where energy density is high to impart durability and cross-sectional area of the luminous flux is small.

4. An exposure apparatus comprising:

a light source for supplying light having a predetermined wavelength; and

an illumination optical system disposed in a light path formed by said light source for guiding light from said light source onto a mask formed with a predetermined pattern to expose said pattern of the mask onto a photosensitive substrate, said illumination optical system including a plurality of light-transmitting optical members which transmit therethrough the light from said light source, at least one of the plurality of light-transmitting optical members being comprised of fluorite, said at least one light-transmitting optical member being

located where energy density is high to impart durability and the luminous flux becomes small.

5. The exposure apparatus according to claim 1, the location where the energy density is high is predetermined.

6. An exposure apparatus comprising:

a light source for supplying light having a predetermined wavelength; and

an illumination optical system disposed in a light path formed by said light source for guiding light from said light source onto a mask formed with a predetermined pattern to expose said pattern of the mask onto a photosensitive substrate, said illumination optical system including a plurality of light-transmitting optical members which transmit therethrough the light from said light source, at least one of the plurality of light-transmitting optical members being comprised of fluorite, said at least one light-transmitting optical member being located where energy density is high to impart durability and the energy density is higher than a predetermined energy density.

7. The exposure apparatus according to claim 1, the illumination optical system includes an optical integrator, an optical system for guiding the light from the optical integrator to the mask, and a guiding optical system for guiding the light from the light source to the optical integrator.

8. The exposure apparatus according to claim 1, wherein said light source is a pulsed light source and said at least one light-transmitting optical member comprised of fluorite is disposed at a position where the relationship is satisfied,  $A_B < E_s / [25(\text{mJ}/\text{cm}^2)]$ , wherein  $E_s$  (mJ) is the optical energy per pulse incident on said light-transmitting optical member comprised of fluorite, and  $A_B$  ( $\text{cm}^2$ ) is the cross-sectional area of a luminous flux transmitted through said light-transmitting optical member comprised of fluorite.

9. The exposure apparatus according to one of claims 1 to 8, further comprising a projection optical system for projecting the pattern of said mask onto photosensitive substrate, a mask stage for holding a mask, and moving the mask with respect to the projection optical system on exposure, and a substrate stage for holding a substrate and moving the substrate with respect to the projection optical system on exposure.

10. The exposure apparatus according to claim 7, further comprising a projection optical system for projecting the pattern of said mask onto photosensitive substrate, a mask stage for holding a mask, and moving the mask with respect to the projection optical system along a scanning direction, and



a substrate stage for holding a substrate and moving the substrate with respect to the projection optical system along the scanning direction,

wherein the optical integrator is a rectangular form having a long side and a short side, the direction of the short side of the optical integrator being correspondent to the scanning direction.

11. An exposure apparatus comprising:

a light source for supplying light having a predetermined wavelength, an illumination optical system for guiding light from said light source onto a mask formed with a predetermined pattern, a projection optical system for projecting the pattern of said mask onto photosensitive substrate, a mask stage for holding a mask, and moving the mask with respect to the projection optical system on exposure along a scanning direction, and a substrate stage for holding a substrate and moving the substrate with respect to the projection optical system on exposure along the scanning direction,

wherein at least one of the plurality of light-transmitting optical members is comprised of fluorite;

the illumination optical system includes an optical integrator, an optical system for guiding the light from the optical integrator to the mask, and a guiding optical system for guiding the light from the light source to the optical integrator;

the optical integrator is a rectangular form having a long side and a short side, the direction of the short side of the

optical integrator being correspondent to the scanning direction;

the illumination optical system includes a plurality of light-transmitting optical members which transmit therethrough the light from said light source; and

said at least one light-transmitting optical member is located where energy density is high to impart durability and the energy density is higher than a predetermined energy density.

12. A method of manufacturing a semiconductor device, using the exposure apparatus according to one of claims 1 to 8, 10 and 11, comprising the steps of:

illuminating the mask using the illumination optical apparatus, and

exposing a pattern on the mask onto photosensitive substrate.

13. A method of exposing using the exposure apparatus according to one of claims 1 to 8, 10 and 11, comprising the steps of:

illuminating the mask using the illumination optical apparatus, and

exposing a pattern on the mask onto photosensitive substrate.

14. An exposure apparatus for exposing a patten on a mask onto photosensitive substrate, comprising:

a light source for supplying light having a predetermined wavelength; and

an illumination optical system for guiding light from said light source onto a mask

wherein said illumination optical system includes a plurality of light-transmitting optical members which transmit therethrough the light from said light source, at least one of the plurality of light-transmitting optical members being comprised of fluorite, said at least one light-transmitting optical member being located near a convergence point of the illumination optical system.

15. The exposure apparatus according to claim 14, wherein said light source is a pulsed light source and said at least one light-transmitting optical member comprised of fluorite is disposed at a position where the relationship is satisfied,  $A_B < E_s / [25(\text{mJ}/\text{cm}^2)]$ , wherein  $E_s$  (mJ) is the optical energy per pulse incident on said light-transmitting optical member comprised of fluorite, and  $A_B$  ( $\text{cm}^2$ ) is the cross-sectional area of a luminous flux transmitted through said light-transmitting optical member comprised of fluorite.

16. The exposure apparatus according to claim 14 or 15, further comprising a projection optical system disposed between the mask and the photosensitive substrate in order to project the pattern on the mask onto the photosensitive substrate.

17. A method of manufacturing a semiconductor device, using the exposure apparatus according to claim 14 or 15, comprising the steps of:  
illuminating the mask using the illumination optical apparatus,  
and

exposing a pattern on the mask onto photosensitive substrate.

18. A method of exposing using the exposure apparatus according to one of claim 14 or 15, comprising the steps of:  
illuminating the mask using the illumination optical apparatus,  
and  
exposing a pattern on the mask onto photosensitive substrate.

19. An exposure apparatus for exposing a pattern on a mask onto photosensitive substrate, comprising:  
a light source for supplying light having a predetermined wavelength; and  
an illumination optical system for guiding light from said light source onto a mask  
wherein said illumination optical system includes a plurality of light-transmitting optical members which transmit therethrough the light from said light source, at least one of the plurality of light-transmitting optical members being comprised of fluorite, said at least one light-transmitting optical member comprised of fluorite being disposed at a position where the relationship is satisfied,  $A_B < E_s / [25 (mJ/cm^2)]$ , wherein  $E_s$  (mJ) is the optical energy per pulse incident on said light-transmitting optical member comprised of fluorite, and  $A_B$  (cm<sup>2</sup>) is the cross-sectional area of a luminous flux transmitted through said light-transmitting optical member comprised of fluorite.

20. A method of manufacturing a semiconductor device, using the exposure apparatus according to claim 19, comprising the steps of:

illuminating the mask using the illumination optical apparatus,  
and

exposing a pattern on the mask onto photosensitive substrate.

21. A method of exposing using the exposure apparatus according to claim 19, comprising the steps of:

illuminating the mask using the illumination optical apparatus,  
and

exposing a pattern on the mask onto photosensitive substrate.

22. An exposure apparatus for exposing a patten on a mask onto photosensitive substrate, comprising:

a light source for supplying light having a predetermined wavelength; and

an illumination optical system for guiding light from said light source onto a mask

wherein said illumination optical system includes a plurality of light-transmitting optical members which transmit therethrough the light from said light source, at least one of the plurality of light-transmitting optical members being comprised of fluorite, said at least one light-transmitting optical member being located at a position of which energy density is higher than a predetermined energy density.

23. The exposure apparatus according to claim 22, the light source supplies a light of wavelength of 250nm or shorter.

24. The exposure apparatus according to claim 22, the light-transmitting optical member comprised of fluorite, comprises an optical integrator.

25. A method of manufacturing a semiconductor device, using the exposure apparatus according to one of claims 22 to 24, comprising the steps of:  
illuminating the mask using the illumination optical apparatus,  
and  
exposing a pattern on the mask onto photosensitive substrate.

26. A method of exposing using the exposure apparatus according to one of claims 22 to 24, comprising the steps of:  
illuminating the mask using the illumination optical apparatus,  
and  
exposing a pattern on the mask onto photosensitive substrate.

27. A method of manufacturing an exposure apparatus for exposing a pattern on a mask onto photosensitive substrate, comprising the steps of:  
providing a light source for supplying light having a predetermined wavelength; and  
providing an illumination optical system for guiding light from said light source onto a mask to expose a pattern of the mask on which a predetermined circuit pattern is formed,

wherein said illumination optical system includes a plurality of light-transmitting optical members which transmit therethrough the light from said light source, at least one of the plurality of light-transmitting optical members being comprised of fluorite, said at least one light-transmitting optical member being located at a position where energy density is high to impart durability.

28. A method of manufacturing an exposure apparatus for exposing a pattern on a mask onto photosensitive substrate, comprising the steps of:

providing a light source for supplying light having a predetermined wavelength; and

providing an illumination optical system for guiding light from said light source onto a mask to expose a pattern of the mask on which a predetermined circuit pattern is formed,

wherein said illumination optical system includes a plurality of light-transmitting optical members which transmit therethrough the light from said light source, at least one of the plurality of light-transmitting optical members being comprised of fluorite, said at least one light-transmitting optical member being located at a position where energy density is higher than a predetermined energy density.

29. A method of manufacturing an exposure apparatus for exposing a pattern on a mask onto photosensitive substrate, comprising the steps of:

providing a light source for supplying light having a predetermined wavelength; and  
providing an illumination optical system for guiding light from said light source onto a mask to expose a pattern of the mask on which a predetermined circuit pattern is formed,  
wherein said illumination optical system includes a plurality of light-transmitting optical members which transmit therethrough the light from said light source, at least one of the plurality of light-transmitting optical members being comprised of fluorite, said at least one light-transmitting optical member being located at a position where energy density is high to impart durability and near a convergence point of the illumination optical system.

30. A method of manufacturing an exposure apparatus for exposing a pattern on a mask onto photosensitive substrate, comprising the steps of:

providing a light source for supplying light having a predetermined wavelength; and  
providing an illumination optical system for guiding light from said light source onto a mask to expose a pattern of the mask on which a predetermined circuit pattern is formed,  
wherein said illumination optical system includes a plurality of light-transmitting optical members which transmit therethrough the light from said light source, at least one of the plurality of light-transmitting optical members being comprised of fluorite, said at least one light-transmitting optical member being located at a position where energy density



is high to impart durability and is higher than a predetermined energy density.

31. A method of manufacturing an exposure apparatus for exposing a pattern on a mask onto photosensitive substrate, comprising the steps of:

providing a light source for supplying light having a predetermined wavelength; and

providing an illumination optical system for guiding light from said light source onto a mask to expose a pattern of the mask on which a predetermined circuit pattern is formed,

wherein said illumination optical system includes a plurality of light-transmitting optical members which transmit therethrough the light from said light source, at least one of the plurality of light-transmitting optical members being comprised of fluorite, said at least one light-transmitting optical member being located at a position where energy density is high to impart durability and a cross-sectional area of a luminous flux is small.

32. The exposure apparatus according to one of claims 27 to 31, the light source supplies a light of wavelength of 250nm or shorter.

33. An illumination optical apparatus comprising a light source for supplying light having a predetermined wavelength; and an illumination optical system for guiding light from said light source onto an object to be illuminated,

wherein said illumination optical system includes a plurality of light-transmitting optical members which transmit therethrough the light from said light source, at least one of the plurality of light-transmitting optical members being comprised of fluorite, said at least one light-transmitting optical member being located at a position where energy density is high to impart durability.

34. An illumination optical apparatus comprising a light source for supplying light having a predetermined wavelength; and an illumination optical system for guiding light from said light source onto an object to be illuminated, wherein said illumination optical system includes a plurality of light-transmitting optical members which transmit therethrough the light from said light source, at least one of the plurality of light-transmitting optical members being comprised of fluorite, said at least one light-transmitting optical member being located at a position where energy density is higher than a predetermined energy density.

35. An illumination optical apparatus comprising a light source for supplying light having a predetermined wavelength; and an illumination optical system for guiding light from said light source onto an object to be illuminated, wherein said illumination optical system includes a plurality of light-transmitting optical members which transmit therethrough the light from said light source, at least one of the plurality of light-transmitting optical members being

comprised of fluorite, said at least one light-transmitting optical member being located at a position where energy density is high to impart durability and near a convergence point of the illumination optical system.

36. An illumination optical apparatus comprising a light source for supplying light having a predetermined wavelength; and an illumination optical system for guiding light from said light source onto an object to be illuminated,

wherein said illumination optical system includes a plurality of light-transmitting optical members which transmit therethrough the light from said light source, at least one of the plurality of light-transmitting optical members being comprised of fluorite, said at least one light-transmitting optical member being located at a position where energy density is high to impart durability and a cross-sectional area of a luminous flux is small.

37. An illumination optical apparatus comprising a light source for supplying light having a predetermined wavelength; and an illumination optical system for guiding light from said light source onto an object to be illuminated,

wherein said illumination optical system includes a plurality of light-transmitting optical members which transmit therethrough the light from said light source, at least one of the plurality of light-transmitting optical members being comprised of fluorite, said at least one light-transmitting

optical member being located at a position where energy density is high to impart durability and a luminous flux becomes small.

38. The exposure apparatus according to claim 33 or 34, the location where the energy density is high is predetermined.

39. An illumination optical apparatus comprising a light source for supplying light having a predetermined wavelength; and an illumination optical system for guiding light from said light source onto an object to be illuminated, wherein said illumination optical system includes a plurality of light-transmitting optical members which transmit therethrough the light from said light source, at least one of the plurality of light-transmitting optical members being comprised of fluorite, said at least one light-transmitting optical member being located at a position where energy density is high to impart durability and is higher than a predetermined energy density.

40. The exposure apparatus according to one of claims 33 to 39, the light source supplies a light of wavelength of 250nm or shorter.

41. A method of manufacturing an illumination optical apparatus for illuminating an object to be illuminated, comprising the steps of:

providing a light source for supplying light having a predetermined wavelength; and

providing an illumination optical system for guiding light from said light source onto a mask to expose a pattern of the mask on which a predetermined circuit pattern is formed, wherein said illumination optical system includes a plurality of light-transmitting optical members which transmit therethrough the light from said light source, at least one of the plurality of light-transmitting optical members being comprised of fluorite, said at least one light-transmitting optical member being located at a position where energy density is high to impart durability.

42. A method of manufacturing an illumination optical apparatus for illuminating an object to be illuminated, comprising the steps of:

providing a light source for supplying light having a predetermined wavelength; and

providing an illumination optical system for guiding light from said light source onto a mask to expose a pattern of the mask on which a predetermined circuit pattern is formed,

wherein said illumination optical system includes a plurality of light-transmitting optical members which transmit therethrough the light from said light source, at least one of the plurality of light-transmitting optical members being comprised of fluorite, said at least one light-transmitting optical member being located at a position where energy density is higher than a predetermined energy density.

43. A method of manufacturing an illumination optical system for illuminating light having a predetermined wavelength to an object to be illuminated comprising:

calculating an energy density of luminous flux corresponding to a predetermined light-transmitting optical member within a plurality of light-transmitting optical member constituting said illumination optical system; and

determining a material for said predetermined light-transmitting optical member in accordance with said energy density.

44. The method according to claim 43, wherein the predetermined optical member comprises fluorite.

45. The method according to claim 43 or 44, wherein said object to be illuminated comprises a mask having a pattern for exposure onto a photosensitive substrate.

46. A method of manufacturing an exposure apparatus for exposing a pattern of a mask onto a photosensitive substrate, comprising the steps of:

providing an illumination optical system for illuminating the mask; and

providing a projection optical system for projecting an image of the pattern of the mask onto the photosensitive substrate, wherein the providing the illumination optical system, comprising the steps of:

calculating an energy density of luminous flux corresponding to a predetermined light-transmitting optical member within a plurality of light-transmitting optical member constituting said illumination optical system; and  
determining a material for said predetermined light-transmitting optical member in accordance with said energy density.

47. The method according to claim 46, wherein the predetermined optical member comprises fluorite.

48. A method of manufacturing a semiconductor device, using the exposing apparatus manufactured by the method according to claim 46 or 47, comprising the steps of:  
illuminating the mask, and  
exposing a pattern on the mask onto a photosensitive substrate.

49. A method of exposing using the exposure apparatus manufactured by the method according to claim 46 or 47, comprising the steps of:  
illuminating the mask using the illumination optical system, and  
exposing a pattern on the mask onto a photosensitive substrate.

(19)대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(51) . Int. Cl.<sup>7</sup>  
G03F 7/20

(45) 공고일자 2005년06월21일  
(11) 등록번호 10-0474578  
(24) 등록일자 2005년02월23일

(21) 출원번호 10-1996-0014546  
(22) 출원일자 1996년04월30일

(65) 공개번호 10-1997-0002481  
(43) 공개일자 1997년01월24일

(30) 우선권주장 95-157812 1995년06월23일 일본(JP)

(73) 특허권자 가부시킴가이샤 니콘  
일본 도쿄도 지요다구 마루노우찌 3쵸메 2방 3고

(72) 발명자 타니조 오사무  
일본국 치바켄 후나바시시 후타고쵸 622-1-309

(74) 대리인 김창세  
장성구  
김원준  
이승호

심사관 : 김현숙

(54) 노광장치와그제조방법,조명광학장치와그제조방법,노광방법,조명광학계의제조방법및반도체소자의 제조방법

요약

본 발명의 목적은, 마스크에 대해서 장기간에 걸쳐 노광광의 조사를 실행해도, 조명 광학계중의 광학 부재의 열화를 방지할 수 있고, 장기간에 걸쳐 안정한 노광을 실현할 수 있는 노광 장치를 제공하는 것이다.

소정의 파장의 광을 공급하는 광원 수단과, 그 광원 수단으로부터의 광을 소정의 회로 패턴이 형성된 마스크상으로 도입하는 조명 광학계를 구비하고, 피조명물체상의 패턴을 감광성 기판상으로 노광하는 노광 장치에 있어서, 그 조명 광학계는, 광원 수단으로부터의 광을 투과시키는 복수의 투과성 광학 부재를 포함하며, 그 복수의 투과성 광학 부재중 적어도 하나는 형식으로 구성되도록 했다.

대표도

도 1a

명세서

도면의 간단한 설명

제 1a 도는 본 발명에 따른 실시예의 노광 장치의 구성을 도시하는 도면이고, 제 1b 도는 제 1a 도의 노광 장치를 가로 방향에서 본 때의 구성을 도시하는 도면,

제 2a 도는 제 1 도의 제 1 광학 적분기(30)의 단면 형상의 모양을 도시하는 도면이고, 제 2b 도는 제 1 도의 제 2 광학 적분기(50)의 단면 형상의 모양을 도시하는 도면,

제 3 도는 종래의 노광 장치의 구성을 도시하는 도면.

도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명



10 : 엑시머 레이저 20 : 빔 정형 광학계

21 : 제 1 릴레이 광학계 30, 50 : 광학 적분기

40 : 제 2 릴레이 광학계 60 : 콘덴서 광학계

AS : 개구 조리개 PL : 투영 광학계

## 발명의 상세한 설명

### 발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 소정의 마스크 패턴을 감광성 기판상에 전사하는 노광 장치에 관한 것으로, 특히, 반도체 제조에 바람직한 자외 영역의 광원을 이용한 노광 장치에 관한 것이다.

종래에 있어서는, 예컨대 제 3 도에 도시하는 바와 같은 반도체 제조용 노광장치가 알려져 있다. 제 3a 도에 도시하는 바와 같이, 수은 아크(arc)등 등의 광원(1)으로부터의 광속은 타원경(2)에 의해 집광된 후, 콜리메타(collimator) 렌즈(3)에 의해 평행 광속으로 변환된다. 그리고, 이 평행 광속은, 제 3b도에 도시하는 바와 같이, 단면이 사각형의 렌즈 소자(4a)의 집합체로 이루어지는 플라이 아이(fly eye) 렌즈(4)를 통과하는 것에 의해, 이들 사출측에 복수의 광원 상(像)이 형성된다. 이 광원 상(像) 위치에는 원형 형상의 개구부를 갖는 개구 조리개(5)가 마련되어 있다. 이 복수의 광원 상으로부터의 광속은 콘덴서 렌즈(6)에 의해서 집광되고, 피조사 물체로서의 마스크 M을 중첩적으로 균일하게 조명한다.

이상의 조명 광학 장치에 의해 마스크 M상의 회로 패턴은, 렌즈(71, 72)로 이루어지는 투영 광학계(7)에 의해서, 레지스트가 도포된 웨이퍼 W상에 전사된다. 이 웨이퍼 W는 2차원적으로 이동하는 웨이퍼 스테이지 WS상에 탑재되어 있고, 제 3도의 노광 장치에서는, 웨이퍼상에서의 1 쇼트(shot) 영역의 노광이 완료되면, 다음 쇼트 영역으로의 노광을 위해, 순차적으로 웨이퍼 스테이지를 2차원 이동시키는 소위 스텝 앤 리피트(step and repeat) 방식의 노광이 행해진다.

또한, 최근에 있어서는, 마스크 M에 대해서 장방 형상 또는 원호(圖弧) 형상의 광속을 조사하고, 투영 광학계에 대해서 공역(共役)으로 배치된 마스크 M과 웨이퍼 W를 일정 방향으로 주사하는 것에 의해, 높은 스루풋(throughput)을 기초로 마스크 M의 회로 패턴의 웨이퍼상에서의 전사하고자 하는 주사 노광 방식이 제안되고 있다.

최근에 있어서는, 웨이퍼면상으로 보다 미세한 마스크 패턴 상(像)을 전사하기 위해서, 노광용 광원의 출력파장을 단파장화하는 것이 행해지고 있다. 예컨대, 마스크 패턴을 투영 광학계를 거쳐서 레지스트가 도포된 웨이퍼상에 전사하는, 소위 투영형 노광 장치에서는 노광용 광원의 출력 파장을 단파장화함으로써 투영 광학계의 해상력을 향상시킬 수 있다.

그러나, 보다 단파장의 노광광을 출력하는 광원, 예컨대 자외선을 발진하는 자외 영역의 펄스 광원을 이용한 경우에는, 광의 파장이 자외 영역인 것으로부터, 자외선을 투과시키는 광학 유리 재료(이하, 유리 재료로 칭함)로는, 가시 영역의 광을 통과시키는 유리 재료와 같이 가공이 용이하다고 하는 이유로 석영 유리가 일반적으로 이용되고 있다.

그러나, 자외광의 펄스 발진 광원 등의 자외 영역의 광을 발생시키는 광원은 고출력이고, 특히 광원으로부터의 광속을 마스크까지 유도하는 노광 장치의 조명 광학계에 있어서는, 광속 직경이 작게 되는 개소(箇所)가 존재하고, 그 개소에서의 에너지 밀도가 높아져, 조명 광학계를 구성하는 석영 유리에 인가되는 손상(damage)은 상당한 것이 있다. 광원의 파장이 더 짧게 됨에 따라서 에너지는 더 올라가, 석영 유리에 인가되는 손상은 보다 커져, 석영 유리의 내구성 측면에서 문제가 있다.

또한, 노광 장치에 있어서는 웨이퍼 등의 기판의 1시간당 처리 매수를 향상시키는 것, 즉 스루풋을 향상시키는 것이 요구되고 있으며, 웨이퍼 등의 기판상에서의 조도를 올리기 위해서 광원의 파워를 보다 강하게 하는 것이 유효한 수단이지만, 조명 광학계중에서의 광속 직경이 작게 되는 개소에 존재하는 석영 유리에 대한 에너지 밀도가 점점 높아져, 이 석영 유리의 내구성에 관해서 문제가 보다 심각해진다.

그래서, 본 발명은, 마스크에 대해서 장기간에 걸쳐 노광광의 조사를 실행하더라도, 조명 광학계중의 광학 부재의 열화를 방지할 수 있어, 장기간에 걸쳐 안정한 노광을 실현할 수 있는 노광 장치를 제공하는 것을 목적으로 하고 있다.

이상의 목적을 달성하기 위해서, 본 발명은, 소정 파장의 광을 공급하는 광원 수단과, 해당 광원 수단으로부터의 광을 소정의 회로 패턴이 형성된 마스크상으로 유도하는 조명 광학계를 구비하고, 상기 피조명 물체상의 패턴을 감광성 기판상에 노광하는 노광 장치에 있어서, 상기 조명 광학계는 상기 광원 수단으로부터의 광을 투과시키는 복수의 투과성 광학 부재를 포함하며, 상기 복수의 투과성 광학부재중 적어도 하나는 형식으로 구성되도록 한 것이다.

이상의 구성에 근거하여, 상기 조명 광학계는, 상기 광원 수단으로부터의 광에 근거하여 다수의 광원을 형성하는 다광원 형성 수단과, 해당 다광원 형성 수단에 의해 형성되는 다수의 광원으로부터의 광을 각각 집광하여 상기 마스크를 중첩적으로 조명하는 콘덴서 광학계를 갖는 구성으로 해도 무방하다. 또는, 이상의 구성에 근거하여, 상기 조명 광학계는, 상기 광원 수단으로부터의 광에 근거하여 다수의 광원을 형성하는 다광원 형성 수단과, 해당 다광원 형성 수단에 의해 형성되는 다수의 광원으로부터의 광을 각각 집광하여 피조명 물체를 중첩적으로 조명하는 콘덴서 광학계와, 상기 광원으로부터의 광을 상기 다광원 형성 수단으로 유도하는 도광(導光) 광학계를 갖는 구성으로 해도 무방하다.

또한, 상기 광원 수단은 펄스 광을 발진하는 광원인 것이 바람직하고, 이 경우, 상기 광원 수단으로부터 공급되는 펄스 광이 상기 형식으로 구성되는 투과성광학 부재에 입사할 때의 1 펄스당 광 에너지를  $E_s(\text{mJ})$ , 상기 형식으로 구성되는 투과성광학 부재를 통과하는 광속의 단면적을  $A_B(\text{cm}^2)$ 로 할 때, (수학식 1)  $A_B < E_s / [25(\text{mJ}/\text{cm}^2)]$ 의 관계를 만족하는 것이 보다 바람직하다.

특히, 상기 광원 수단은 엑시머 레이저인 것이 보다 바람직하다.

본 발명에서는, 형식이 높은 에너지 밀도에 대해서도 내구성이 우수하다고 하는 물리적인 특성에 착안하여, 이상의 구성에 의해서, 마스크에 대해서 장기간에 걸쳐 노광광의 조사를 실행하더라도, 조명 광학계중의 광학 부재의 열화를 방지할 수 있어, 장기간에 걸쳐 안정한 노광을 실행할 수 있는 것을 발견한 것이다.

특히, 노광 장치의 조명 광학계에 있어서의 형식화에 관한 결정 수법에 대해서 설명하면, 광학 부재에 조사되는 광속이 갖는 에너지 밀도는, 본래의 광원으로부터의 광속의 면적비로 구할 수 있기 때문에, 이 수법을 이용하여 조명 광학계를 설계하는 단계에서, 광학 부재에 조사되는 광속의 에너지 밀도를 미리 계산하더라도 좋다. 이 경우, 형식은 조사(照射) 실험을 사전에 실행하고, 내구성을 측정해 두는 것이 바람직하고, 이전의 계산 결과와 함께 조사(照射) 시간의 예측으로부터, 에너지 밀도가 높은 곳에는 형식을 이용하여 조명 광학계를 설계하는 것이 보다 바람직하다.

이러한 관점으로부터, 본 발명자는, 펄스 광을 공급하는 광원을 이용하여, 각종 시뮬레이션 및 각종 실험을 행한 결과, 조명 광학계를 구성하는 각 광학 부재에 펄스 형상의 광이 입사할 때의 1 펄스당 광 에너지를  $E_s(\text{mJ})$ , 조명 광학계중의 각 광학 부재를 통과하는 광속의 단면적을  $A_B(\text{cm}^2)$ 으로 할 경우, (수학식 1)  $A_B < E_s / [25(\text{mJ}/\text{cm}^2)]$ 의 관계를 만족하는 광속의 단면적이 되는 위치에 배치되어 있는 조명 광학계중의 광학 부재를 형식으로 구성하는 것이 바람직하다는 것을 발견했다. 이에 의해, 노광 장치의 조명 광학계에서는, 광속 직경이 작게 되는 개소가 존재하고, 그 개소에서의 에너지 밀도가 높아져, 조명 광학계를 구성하는 광학 부재에 손상을 부여한다고 하는 문제가 해소되어, 내구성이 우수한 장치가 보증된다.

또, 노광 장치의 조명 광학계에 있어서의 내구성을 갖게 하기 위해서는, 상기 수학식 1을 만족하는 것이 바람직하지만, 상기한 수학식 1을 만족하고 있는 개소의 광학 부재뿐만 아니라 그 이외의 개소의 광학 부재를 형식으로 구성하여, 조명계 전체를 형식화하면, 노광 장치의 조명 광학계의 내구성을 보다 더 높일 수 있다.

제 1 도는 본 발명에 따른 실시예의 반도체 제조용 노광 장치의 구성을 나타내는 것이다. 제 1a 도는 실시예의 장치를 바로 위에서 보았을 때의 구성을 도시하는 도면이고, 제 1b 도는 제 1a 도의 장치를 횡(橫) 방향에서 보았을 때의 단면구성을 도시하는 도면이다. 이하, 이 제 1 도를 참조하면서 실시예에 대해서 상술한다.

제 1 도에 도시하는 바와 같이, 엑시머 레이저 등의 소정 파장의 광을 공급하는 광원(10)으로부터는, 222nm(KrCl), 248nm(KrF), 192nm(ArF) 또는 157nm(F<sub>2</sub>) 등의 파장을 갖는 거의 평행한 광속이 출력되고, 이 때의 평행 광속의 단면 형상은 장방 형상으로 되어 있다. 이 광원(10)으로부터의 평행 광속은 소정의 단면 형상의 광속으로 정형화하는 광속 정형부로서의 빔 정형 광학계(20)에 입사된다. 이 빔 정형 광학계(20)는 제 1a 도의 지면과 수직 방향(제 1b 도의 지면 방향)으로 굴절력을 갖는 2개의 원통형 렌즈(20A, 20B)로 구성되어 있고, 광원측의 원통형 렌즈(20A)는, 부(負)의 굴절력을 갖고, 제 1b 도의 지면 방향의 광속을 발산시키는 한편, 피조명면측의 원통형 렌즈(20B)는, 정(正)의 굴절력을 갖고, 광원측의 원통형 렌즈(20A)로부터의 발산 광속을 집광하여 평행 광속으로 변환한다. 따라서, 빔 정형 광학계(20)를 거친 광원(1)으로부터의 평행 광속은, 제 1b 도의 지면 방향의 광속 폭이 확대되어 광속 단면이 소정의 크기를 갖는 장방 형상으로 정형화된다. 또, 빔 정형 광학계(20)로서는 정의 굴절력을 갖는 원통형 렌즈를 조합시킨 것이라도 무방하고, 또한 아나몰픽 프리즘(anamorphic prism) 등이라도 무방하다.

그런데, 빔 정형 광학계(20)로부터의 정형화된 광속은 제 1 릴레이 광학계(21)에 입사한다. 여기서, 제 1 릴레이 광학계(21)는 2장의 정(正)의 렌즈로 이루어지는 정의 굴절력의 선두 그룹(21A, 21B)과, 2장의 정(正)의 렌즈로 이루어지는 정의 굴절력의 후미 그룹(21C, 21D)을 갖고 있고, 제 1 릴레이 광학계(21)의 선두 그룹(21A, 21B)은, 이 선두 그룹의 마스크 M측(후미 측)의 초점 위치에 집광점(광원 상(像)) I를 형성하고, 제 1 릴레이 광학계(21)의 후미 그룹(21C, 21D)은 그 선두 그룹(21A, 21B)의 초점 위치에 광원측(선두 측)의 초점 위치가 일치하도록 배치되어 있다. 그리고, 이 제 1 릴레이 광학계(21)는 광원(10)의 사출면과 후술하는 제 1 다광원 상 형성 수단으로서의 광학 적분기(Optical integrator)(30)의 입사면을 공역으로 하는 기능을 갖고 있다. 이 제 1 릴레이 광학계(21)의 기능에 의해서 광원(10)으로부터의 광의 각도 어긋남에 따른 광학 적분기(30)를 조명하는 광속의 어긋남을 보정하여, 광원(10)으로부터의 광의 각도 어긋남에 대한 허용도를 크게 하고 있다. 또, 광원(10)으로부터의 광을 제 1 다광원 형성 수단으로 유도하는 본 실시예에서의 도광 광학계는 빔 정형 광학계(20)와 제 1 릴레이 광학계(21)로 구성되어 있다.

제 1 릴레이 광학계(21)를 거친 광속은, 직선 형상으로 3열 배열된 복수의 광원 상(像)을 형성하는 제 1 다광원 상(像) 형성 수단으로서의 광학 적분기(30)에 입사된다. 이 광학 적분기(30)는, 제 2a 도에 나타내는 같이, 거의 정방형 형상의 렌즈 단면을 갖는 복수의 양(兩) 볼록 형상의 렌즈 소자(30a)가 복수개(3열 × 9행 = 27개) 배치되어 구성되어 있고, 광학 적분기(30) 전체로서는 장방 형상의 단면을 갖고 있다. 그리고, 각각의 양 볼록 형상의 렌즈 소자(30a)는 제 1a 도의 지면 방향과 제 1b 도의 지면 방향으로 서로 동등한 곡률(굴절력)을 갖고 있다.

이 때문에, 광학 적분기(30)를 구성하는 개개의 렌즈 소자(30a)를 통과하는 평행 광속은, 각각 집광되어, 각 렌즈 소자(30a)의 사출측에는 광원 상이 형성된다. 따라서, 광학 적분기(30)의 사출측 위치 A<sub>1</sub>에는, 렌즈 소자(30a)의 수에 상당하는 복수개(3열 × 9행 = 27개)의 광원 상이 형성되고, 여기에는 실질적으로 2차 광원이 형성된다.

광학 적분기(30)에 의해서 형성된 복수의 2차 광원으로부터의 광속은, 제 2 릴레이 광학계(40)에 의해서 집광되고, 또한 복수의 광원 상을 형성하는 제 2 다광원 상 형성 수단으로서의 광학 적분기(50)에 입사한다.

이 광학 적분기(50)는, 제 2b 도에 도시하는 바와 같이, 장방형상의 렌즈단면을 갖는 복수의 양 볼록형상의 렌즈 소자(50a)가 복수개(9열  $\times$  3행 = 27개)로 배치되어 구성되어 있고, 이 렌즈 소자(50a)는 이 소자(50a)의 단면 형상(중형비)이 광학 적분기(30)의 단면 형상(중형비)과 유사(相似)로 되도록 구성되어 있다. 그리고, 광학 적분기(50) 전체로서는 정방형형상의 단면을 갖고 있다. 또한, 각각의 렌즈 소자(50a)는 제 1a 도의 지면 방향과 제 1b 도의 지면 방향으로 서로 동등한 곡률(굴절력)을 갖고 있다.

이 때문에, 광학 적분기(50)를 구성하는 개개의 렌즈 소자(50a)를 통과하는 광학 적분기(30)로부터의 광속은, 각각 집광되어, 각 렌즈 소자(30a)의 사출측에는 광원 상이 형성된다. 따라서, 광학 적분기(30)의 사출측 위치  $A_2$ 에는 정방형형상으로 배열된 복수의 광원 상이 형성되고, 여기에는 실질적으로 3차 광원이 형성된다.

여기서, 광학 적분기(50)에 의해 형성되는 정방형형상으로 배열된 복수의 광원 상의 수는, 광학 적분기(30)를 구성하는 렌즈 소자(30a)의 수를 N개로 하고, 광학 적분기(50)를 구성하는 렌즈 소자(50a)의 수를 M개로 할 때,  $N \times M$ 개가 형성된다. 즉, 광학 적분기(30)에 의해 형성되는 복수의 광원 상이 제 2 릴레이 광학계(40)에 의해서 광학 적분기(50)를 구성하는 각각의 렌즈 소자(50a)의 광원 상 위치에 형성되기 때문에, 광학 적분기(50)의 사출측 위치  $A_2$ 에는 합계  $N \times M$ 개의 광원 상이 형성된다.

또, 제 2 릴레이 광학계(40)는, 광학 적분기(30)의 입사면 위치  $B_1$ 과 광학 적분기(50)의 입사면 위치  $B_2$ 를 공역으로 합과 동시에, 광학 적분기(30)의 사출면 위치  $A_1$ 과 광학 적분기(50)의 사출면 위치  $A_2$ 를 공역으로 하고 있다.

이 3차 광원이 형성되는 위치  $A_2$  또는 그 근방 위치에는 소정 형상의 개구부를 갖는 개구 조리개 AS가 마련되어 있고, 이 개구 조리개 AS에 의해 원형형상으로 형성된 3차 광원으로부터의 광속은, 집광 광학계로서의 콘덴서 광학계(60)에 의해 집광되어 피조명 물체로서의 마스크 M상을 슬릿 형상(장변과 단변을 갖는 장방형상)으로 균일하게 조명한다.

마스크 M은, 마스크 스테이지 MS에 유지되고, 감광성 기판으로서의 웨이퍼 W는 웨이퍼 스테이지에 유지되어 있다. 그리고, 마스크 스테이지 MS에 유지된 마스크 M과 웨이퍼 스테이지 WS에 탑재된 웨이퍼 W는 투영 광학계 PL에 대해서 공역으로 배치되어 있고, 슬릿 형상으로 조명된 마스크 M의 회로 패턴 부분이 투영 광학계 PL에 의해서 웨이퍼 W상에 투영된다.

이상의 구성에 의한 실제로의 노광에 있어서는, 마스크 스테이지 MS와 웨이퍼 스테이지 WS는, 제 1b 도에 도시하는 바와 같은 화살표 방향으로 서로 반대 방향으로 이동하여, 레티클상의 회로 패턴이 웨이퍼 W상에 전사된다.

그리고, 다음에, 본 실시예에 따른 조명 광학계의 렌즈 구성에 대하여 상술한다.

제 1 도에 나타낸 본 실시예에 있어서, 엑시머 레이저 등의 광원(10)으로부터의 광속을 유도할 때에, 특히, 에너지 밀도가 상당히 높아지는 개소는 제 1 릴레이 광학계(21)내이다. 그 이유로서, 에너지 밀도는 광속의 단면의 면적에 반비례하기 때문에, 광속 직경이 작은 광이 입사하는 렌즈 엘리먼트(element)의 에너지 밀도는 높아진다. 따라서, 제 1 릴레이 광학계(21)는, 선두 그룹(21A, 21B)과 후미 그룹(21C, 21D) 사이의 광로중에 광원(10)으로부터의 모든 광속의 집광점(광원상) I를 형성하기 때문에, 광속 단면의 면적이 작게 되는 제 1 릴레이 광학계(21)에 있어서의 선두 그룹의 정의 렌즈(21B) 및 후미 그룹의 정의 렌즈(21C)에서의 에너지 밀도가 상당히 높아진다.

그래서, 구체적으로 수치예를 들어 본 실시예를 설명하면, 광원(10)은, 출력광의 광 단면적이  $1.25\text{cm}^2$ 로 1 펄스당 광 에너지  $E_s$ 가 10mJ의 광을 공급하고, 빔 정형 광학계(20)는 1.6배의 확대 배율을 갖고, 제 1 릴레이 광학계(21)에 있어서의 선두 그룹(21A, 21B)의 초점 거리와 제 1 릴레이 광학계(21)에 있어서의 후미 그룹(21C, 21D)의 초점 거리는 합계 100mm이며, 제 1 릴레이 광학계(21)는 등배(等倍)계로 구성되어 있다. 그리고, 정의 렌즈(21B)는, 제 1 릴레이 광학계(21)의 선두 그룹(21A, 21B)에 의해 형성되는 광원 상 I의 위치로부터 광원측에 43.6mm의 위치에 배치되고, 정의 렌즈(21C)는, 제 1 릴레이 광학계(21)의 선두 그룹(21A, 21B)에 의해 형성되는 광원 상 I의 위치로부터 마스크측에 43.6mm의 위치에 배치되어 있다. 이 경우에는, 빔 정형 광학계(20)를 통과한 광속의 단면적은  $2.0\text{cm}^2$ 으로 되고, 정의 렌즈(21B)를 통과하는 광속의 단면적  $A_B$ 는  $0.38\text{cm}^2$ , 정의 렌즈(21C)를 통과하는 광속의 단면적  $A_{B2}$ 는  $0.38\text{cm}^2$ 이다. 여기서, 빔 정형 광학계(20) 및 제 1 릴레이 광학계(21)를 통과하는 광원(10)으로부터의 광의 광량 손실은 거의 없기 때문에, 정의 렌즈(21B) 및 정의 렌즈(21C)에 입사할 때의 광 에너지  $E_s$ 는 합계 10mJ로 된다. 따라서, 이상의 수치예로부터, 제 1 릴레이 광학계(21)에 있어서의 선두 그룹의 정의 렌즈(21B) 및 후미 그룹의 정의 렌즈(21C)도 상기 수학식 1을 만족하고 있는 것이 이해된다. 따라서, 본 실시예에서는, 상기 수학식 1을 만족하는 개소의 광속단면적으로 되는 정의 렌즈(21B) 및 정의 렌즈(21C)를 형식으로 구성하고 있기 때문에, 내구성이 우수한 구성으로 되어 있다.

또, 본 실시예에서는, 제 1 릴레이 광학계(21)에 있어서의 선두 그룹의 정의 렌즈(21B) 및 후미 그룹의 정의 렌즈(21C)를 형식으로 구성하고 있지만, 보다 충분한 수차(收差) 보정을 달성하는 데에는, 보다 다수의 렌즈로 제 1 릴레이 광학계(21)를 구성하는 것이 가능하다. 이 경우에는, 공간적인 제약으로부터 어떻게 해도 에너지 밀도가 높아지는 집광점 I 근방에 복수의 렌즈를 배치하지 않으면 안되지만, 이 집광점 I 근방에 위치하는 렌즈를 모두 형식으로 구성하면 좋다.

따라서, 제 1 도에서는, 에너지 밀도가 상당히 높고, 제 1 릴레이 광학계(21)에 있어서의 선두 그룹의 정의 렌즈(21B) 및 후미 그룹의 정의 렌즈(21C)에서는 형식으로 구성하고 있지만, 상기 수학식의 조건을 만족하는 개소의 렌즈 등의 광학 부재에 대해서는 모두 형식으로 구성하는 것이 바람직한 것은 말할 필요도 없다.

또한, 제 1 릴레이 광학계(21) 이외에도 에너지가 높은 부분, 예컨대 광학적분기(30, 50) 등도 형식을 사용하는 것이 바람직하고, 또한, 광원(10)을 보다 높은 출력의 광을 발진하는 엑시머 레이저를 이용하는 경우에는 조명계 전체를 형식으로 하는 것에 의해서 보다 장치의 내구성을 높일 수 있다.

또한, 본 발명의 실시예에서는, 제 1 릴레이 광학계(21)를 구성하는 일부의 렌즈를 형식으로 구성한 예를 나타내었지만, 본 발명은, 빔 정형 광학계(20) 및 제 1 릴레이 광학계(21)를 구비하지 않는 제 3 도에 나타낸 조명 광학계의 광학 적분기(4)나 콘덴서 광학계(60)를 구성하는 렌즈를 형식으로 구성하더라도 좋다. 이 경우에도 상기 수학식 1을 만족하는 것이 바람직하고, 이 때의 상기 수학식 1의 광 에너지  $E_s$ 는, 광학 적분기(4)나 콘덴서 광학계(60)에 입사하는 각각 광속에 식(eclipse) 등에 의한 광량 손실이 있을 염려가 있기 때문에, 광학 적분기(4)나 콘덴서 광학계(60)에 입사하는 각각의 광 에너지로 된다.

본 발명의 실시예에서는 스텝 스캔형 노광 장치가 예를 나타내었지만, 일괄 노광형 노광 장치에서도 에너지 밀도가 높은 부분에 형식을 이용하는 것으로 조명계의 내구성을 증대시킬 수 있는 것은 말할 필요도 없다.

또한, 본 발명의 실시예에서는 광원(10)으로서 엑시머 레이저를 이용했지만, 예컨대 고체 레이저에 고조파를 이용하여 250nm 이하의 파장으로 한 것을 광원으로서 이용하더라도 좋다.

이상과 같이, 본 발명에 의하면, 피노광체(마스크)에 대해서 장기간에 걸쳐 고출력의 노광광의 조사를 실행하더라도, 노광 장치의 조명 광학계중의 광학 부재의 열화를 방지할 수 있고, 장기간에 걸쳐 안정한 노광을 실현할 수 있는 내구성이 우수한 노광 장치를 달성할 수 있다. 또한, 보다 고출력의 광원을 이용했다고 해도, 노광 장치의 조명 광학계중의 광학 부재의 열화를 방지하면서, 높은 스루풋을 유지할 수 있는 노광을 실현할 수 있다.

#### (57) 청구의 범위

##### 청구항 1.

소정의 파장의 광을 공급하는 광원 수단과, 해당 광원 수단으로부터의 광을 소정의 패턴이 형성된 마스크상으로 유도하는 조명 광학계를 구비하고, 상기 마스크의 패턴을 감광성 기판상에 노광하는 노광 장치에 있어서,

상기 조명 광학계는 상기 광원 수단으로부터의 광을 투과시키는 복수의 투과성 광학 부재를 포함하고,

상기 복수의 투과성 광학 부재중 적어도 하나는 형식으로 구성되며,

상기 형식으로 구성되는 투과성 광학 부재는, 내구성에 악영향을 미치는 에너지 밀도가 높은 위치에 배치되는 것을 특징으로 하는 노광 장치.

##### 청구항 2.

소정의 파장의 광을 공급하는 광원 수단과, 해당 광원 수단으로부터의 광을 소정의 패턴이 형성된 마스크상으로 유도하는 조명 광학계를 구비하고, 상기 마스크의 패턴을 감광성 기판상에 노광하는 노광 장치에 있어서,

상기 조명 광학계는 상기 광원 수단으로부터의 광을 투과시키는 복수의 투과성 광학 부재를 포함하고,

상기 복수의 투과성 광학 부재중 적어도 하나는 형식으로 구성되며,

상기 형식으로 구성되는 투과성 광학 부재는 내구성에 악영향을 미치는 에너지 밀도가 높은 위치에 배치됨과 아울러, 상기 조명 광학계내에 형성되는 집광점 근처에 배치되어 있는 것을 특징으로 하는 노광 장치.

##### 청구항 3.

소정의 파장의 광을 공급하는 광원 수단과, 해당 광원 수단으로부터의 광을 소정의 패턴이 형성된 마스크상으로 유도하는 조명 광학계를 구비하고, 상기 마스크의 패턴을 감광성 기판상에 노광하는 노광 장치에 있어서,

상기 조명 광학계는 상기 광원 수단으로부터의 광을 투과시키는 복수의 투과성 광학 부재를 포함하고,

상기 복수의 투과성 광학 부재중 적어도 하나는 형식으로 구성되며,

상기 형식으로 구성되는 투과성 광학 부재는, 내구성에 악영향을 미치는 에너지 밀도가 높은 위치에 배치됨과 아울러, 광속 단면의 면적이 작은 위치에 배치되는 것을 특징으로 하는 노광 장치.

#### 청구항 4.

소정의 파장의 광을 공급하는 광원 수단과, 해당 광원 수단으로부터의 광을 소정의 패턴이 형성된 마스크상으로 유도하는 조명 광학계를 구비하고, 상기 마스크의 패턴을 감광성 기판상에 노광하는 노광 장치에 있어서,

상기 조명 광학계는 상기 광원 수단으로부터의 광을 투과시키는 복수의 투과성 광학 부재를 포함하고,

상기 복수의 투과성 광학 부재중 적어도 하나는 형식으로 구성되며,

상기 형식으로 구성되는 투과성 광학 부재는, 내구성에 악영향을 미치는 에너지 밀도가 높은 위치에 배치됨과 아울러, 광속이 작아지는 위치에 배치되는 것을 특징으로 하는 노광 장치.

#### 청구항 5.

제 1 항에 있어서,

상기 에너지 밀도가 높은 위치는, 미리 고려된 배치인 것을 특징으로 하는 노광 장치.

#### 청구항 6.

소정의 파장의 광을 공급하는 광원 수단과, 해당 광원 수단으로부터의 광을 소정의 패턴이 형성된 마스크상으로 유도하는 조명 광학계를 구비하고, 상기 마스크의 패턴을 감광성 기판상에 노광하는 노광 장치에 있어서,

상기 조명 광학계는 상기 광원 수단으로부터의 광을 투과시키는 복수의 투과성 광학 부재를 포함하고,

상기 복수의 투과성 광학 부재중 적어도 하나는 형식으로 구성되며,

상기 형식을 구성되는 투과성 광학 부재는, 내구성에 악영향을 미치는 에너지 밀도가 높은 위치에 배치됨과 아울러, 소정의 에너지 밀도를 초과하는 위치에 배치되는 것을 특징으로 하는 노광 장치.

#### 청구항 7.

제 1 항에 있어서,

상기 조명 광학계는, 광학 적분기(optical integrator)와, 해당 광학 적분기로부터의 광을 상기 마스크로 유도하는 광학계와, 상기 광원 수단으로부터의 광을 상기 광학 적분기로 유도하는 도광 광학계를 포함하는 것을 특징으로 하는 노광 장치.

#### 청구항 8.

제 1 항에 있어서,

상기 광원 수단은 펄스 광을 발진하는 광원을 포함하고,

상기 광원 수단으로부터 공급되는 펄스 광이 상기 형식으로 구성되는 투과성광학 부재에 입사할 때의 1 펄스당 광 에너지를  $E_s(\text{mJ})$ , 상기 형식으로 구성되는 투과성 광학 부재를 통과하는 광속의 단면적을  $A_B(\text{cm}^2)$ 라고 할 경우,

(수학식 1)

$$A_B < E_s / [25(\text{mJ}/\text{cm}^2)]$$

의 관계를 만족하는 것을 특징으로 하는 노광 장치.

#### 청구항 9.

제 1 항 내지 제 8 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 마스크의 패턴을 감광성 기판에 투영하는 투영 광학계와,

상기 마스크를 유지하며, 또한 노광시에 상기 투영 광학계에 대해서 상기 마스크를 이동시키는 마스크 스테이지와,

상기 감광성 기판을 유지하며, 또한 노광시에 상기 투영 광학계에 대해서 상기 감광성 기판을 이동시키는 기판 스테이지를 더 구비하는 것을 특징으로 하는 노광 장치.

#### 청구항 10.

제 7 항에 있어서,

상기 마스크의 패턴을 감광성 기판에 투영하는 투영 광학계와,

상기 마스크를 유지하며, 또한 노광시에 상기 투영 광학계에 대해서 상기 마스크를, 스캔 방향을 따라 이동시키는 마스크 스테이지와,

상기 감광성 기판을 유지하며, 또한 노광시에 상기 투영 광학계에 대해서 상기 감광성 기판을, 상기 스캔 방향을 따라 이동시키는 기판 스테이지를 더 구비하며,

상기 광학 적분기는, 장변과 단변을 갖는 장방 형상의 단면을 포함하고,

상기 광학 적분기의 단면의 단변의 방향이 상기 스캔 방향에 대응하는 것을 특징으로 하는 노광 장치.

#### 청구항 11.

소정의 파장의 광을 공급하는 광원 수단과, 해당 광원 수단으로부터의 광을 소정의 패턴이 형성된 마스크상으로 유도하는 조명 광학계와, 상기 마스크의 패턴을 감광성 기판에 투영하는 투영 광학계와, 상기 마스크를 유지하며, 또한 노광시에 상기 투영 광학계에 대해서 상기 마스크를 스캔 방향을 따라 이동시키는 마스크 스테이지와, 상기 감광성 기판을 유지하며, 또한 노광시에 상기 투영 광학계에 대해서 상기 감광성 기판을 상기 스캔 방향을 따라 이동시키는 기판 스테이지를 구비하여, 상기 마스크의 패턴을 감광성 기판상에 노광하는 노광 장치에 있어서,

상기 복수의 투과성 광학 부재중 적어도 하나는 형식으로 구성되며,

상기 조명 광학계는, 광학 적분기(optical integrator)와, 해당 광학 적분기로부터의 광을 상기 마스크로 유도하는 광학계와, 상기 광원 수단으로부터의 광을 상기 광학 적분기로 유도하는 도광 광학계를 포함하고,

상기 광학 적분기는, 장변과 단변을 갖는 장방 형상의 단면을 포함하며,

상기 광학 적분기의 단면의 단변의 방향이 상기 스캔 방향에 대응하고,

상기 조명 광학계는 상기 광원 수단으로부터의 광을 투과시키는 복수의 투과성 광학 부재를 포함하며,

상기 복수의 투과성 광학 부재중 적어도 하나는 형식으로 구성되고,

상기 형식으로 구성되는 투과성 광학 부재는, 내구성에 악영향을 미치는 에너지 밀도가 높은 위치에 배치됨과 아울러, 소정의 에너지 밀도를 초과하는 위치에 배치되는 것을 특징으로 하는 노광 장치.

#### 청구항 12.

청구항 1 내지 청구항 8, 청구항 10 및 청구항 11 중 어느 한 항에 기재된 노광 장치를 이용한 반도체 소자의 제조 방법에 있어서,

상기 조명 광학계를 이용하여 상기 마스크를 조명하는 조명 공정과,

상기 마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 공정

을 포함하는 것을 특징으로 하는 반도체 소자의 제조 방법.

### 청구항 13.

청구항 1 내지 청구항 8, 청구항 10 및 청구항 11 중 어느 한 항에 기재된 노광 장치를 이용한 노광 방법에 있어서,  
상기 조명 광학계를 이용하여 상기 마스크를 조명하는 조명 공정과,  
상기 마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 노광 방법.

### 청구항 14.

마스크에 형성된 패턴을 감광성 기판상에 노광하는 노광 장치에 있어서,  
소정의 파장의 광을 공급하는 광원 수단과,  
해당 광원 수단으로부터의 광을 상기 마스크상으로 유도하는 조명 광학계를 포함하되,  
상기 조명 광학계는 상기 광원 수단으로부터의 광을 투과시키는 복수의 투과성 광학 부재를 포함하고,  
상기 복수의 투과성 광학 부재중 적어도 하나는 형식으로 구성되며,  
상기 형식으로 구성되는 투과성 광학 부재는 상기 조명 광학계내에 형성되는 집광점 근처에 배치되어 있는 것을 특징으로 하는  
노광 장치.

### 청구항 15.

제 14 항에 있어서,  
상기 광원 수단은 펄스 광을 발진하는 광원을 포함하고,  
상기 광원 수단으로부터 공급되는 펄스 광이 상기 형식으로 구성되는 투과성광학 부재에 입사할 때의 1펄스당 광 에너지를  $E_s(\text{mJ})$ , 상기 형식으로 구성되는 투과성 광학 부재를 통과하는 광속의 단면적을  $A_B(\text{cm}^2)$ 라고 할 경우,  
(수학식 1)  
$$A_B < E_s / [25(\text{mJ}/\text{cm}^2)]$$
  
의 관계를 만족하는 것을 특징으로 하는 노광 장치.

### 청구항 16.

제 14 항 또는 제 15 항에 있어서,  
상기 마스크의 패턴을 상기 감광성 기판에 투영하기 위해서, 상기 마스크와 상기 감광성 기판 사이에 배치된 투영 광학계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 노광 장치.

### 청구항 17.

청구항 14 또는 청구항 15에 기재된 노광 장치를 이용한 반도체 소자의 제조방법에 있어서,  
상기 조명 광학계를 이용하여 상기 마스크를 조명하는 조명 공정과,

상기 마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 반도체 소자의 제조 방법.

#### 청구항 18.

청구항 14 또는 청구항 15 항에 기재된 노광 장치를 이용한 노광 방법에 있어서,  
상기 조명 광학계를 이용하여 상기 마스크를 조명하는 조명 공정과,  
상기 마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 노광 방법.

#### 청구항 19.

마스크에 형성된 패턴을 감광성 기판상에 노광하는 노광 장치에 있어서,  
소정의 파장의 광을 공급하는 광원 수단과,  
해당 광원 수단으로부터의 광을 상기 마스크상으로 유도하는 조명 광학계를 포함하되,  
상기 조명 광학계는 상기 광원 수단으로부터의 광을 투과시키는 복수의 투과성 광학 부재를 포함하고,  
상기 복수의 투과성 광학 부재중 적어도 하나는 형식으로 구성되며,  
상기 광원 수단은 펄스 광을 발진하는 광원을 포함하고,  
상기 광원 수단으로부터 공급되는 펄스 광이 상기 형식으로 구성되는 투과성광학 부재에 입사할 때의 1 펄스당 광 에너지를  $E_s(\text{mJ})$ , 상기 형식으로 구성되는 투과성 광학 부재를 통과하는 광속의 단면적을  $A_B(\text{cm}^2)$ 라고 할 경우,

(수학식 1)

$$A_B < E_s / [25(\text{mJ}/\text{cm}^2)]$$

의 관계를 만족하는 것을 특징으로 하는 노광 장치.

#### 청구항 20.

청구항 19항에 기재된 노광 장치를 이용한 반도체 소자의 제조 방법에 있어서,  
상기 조명 광학계를 이용하여 상기 마스크를 조명하는 조명 공정과,  
상기 마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 반도체 소자의 제조 방법.

#### 청구항 21.

청구항 19 항에 기재된 노광 장치를 이용한 노광방법에 있어서,  
상기 조명 광학계를 이용하여 상기 마스크를 조명하는 조명 공정과,  
상기 마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 노광 방법.



청구항 22.

마스크에 형성된 패턴을 감광성 기판상에 노광하는 노광 장치에 있어서,  
 소정의 파장의 광을 공급하는 광원 수단과,  
 소정의 파장의 광을 공급하는 광원 수단과,  
 상기 광원 수단으로부터의 광을 상기 마스크상으로 유도하는 조명 광학계를 포함하되,  
 상기 조명 광학계는, 상기 광원 수단으로부터의 광을 투과시키는 복수의 투과성 광학 부재를 포함하고,  
 상기 복수의 투과성 광학 부재중 적어도 하나는 형식으로 구성되며,  
 상기 형식으로 구성되는 투과성 광학 부재는, 소정의 에너지 밀도를 초과하는 위치에 배치되는 것을 특징으로 하는 노광 장치.

청구항 23.

제 22 항에 있어서,  
 상기 광원 수단은, 250nm 이하의 파장의 광을 공급하는 것을 특징으로 하는 노광 장치.

청구항 24.

제 22 항에 있어서,  
 상기 형식으로 구성되는 투과성 광학 부재는, 광학 적분기를 포함하는 것을 특징으로 하는 노광 장치.

청구항 25.

청구항 22 내지 청구항 24 중 어느 한 항에 기재된 노광 장치를 이용한 반도체 소자의 제조 방법에 있어서,  
 상기 조명 광학계를 이용하여 상기 마스크를 조명하는 조명 공정과,  
 상기 마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 반도체 소자의 제조 방법.

청구항 26.

청구항 22 내지 청구항 24 중 어느 한 항에 기재된 노광 장치를 이용한 노광방법에 있어서,  
 상기 조명 광학계를 이용하여 상기 마스크를 조명하는 조명 공정과,  
 상기 마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 노광 방법.

청구항 27.

마스크상의 패턴을 감광성 기판상에 노광하는 노광 장치의 제조 방법에 있어서,

소정의 파장의 광을 공급하는 광원 수단을 준비하는 공정과,

해당 광원 수단으로부터의 광을 소정의 회로 패턴이 형성된 마스크상으로 유도하는 조명 광학계를 준비하는 공정을 포함 하되,

상기 조명 광학계는, 상기 광원 수단으로부터의 광을 투과시키는 복수의 투과성 광학 부재를 포함하고,

상기 복수의 투과성 광학 부재중 적어도 하나는 형식으로 구성되며,

상기 형식으로 구성되는 투과성 광학 부재는, 내구성에 악영향을 미치는 에너지 밀도가 높은 위치에 배치되는 것을 특징 으로 하는 노광 장치의 제조 방법.

## 청구항 28.

마스크상의 패턴을 감광성 기판상에 노광하는 노광 장치의 제조방법에 있어서,

소정의 파장의 광을 공급하는 광원 수단을 준비하는 공정과,

해당 광원 수단으로부터의 광을 소정의 회로 패턴이 형성된 마스크상으로 유도하는 조명 광학계를 준비하는 공정을 포함 하되,

상기 조명 광학계는, 상기 광원 수단으로부터의 광을 투과시키는 복수의 투과성 광학 부재를 포함하고,

상기 복수의 투과성 광학 부재중 적어도 하나는 형식으로 구성되며,

상기 형식으로 구성되는 투과성 광학 부재는, 소정의 에너지 밀도를 초과하는 위치에 배치되는 것을 특징으로 하는 노광 장치의 제조 방법.

## 청구항 29.

마스크상의 패턴을 감광성 기판상에 노광하는 노광 장치의 제조방법에 있어서,

소정의 파장의 광을 공급하는 광원 수단을 준비하는 공정과,

해당 광원 수단으로부터의 광을 소정의 회로 패턴이 형성된 마스크상으로 유도하는 조명 광학계를 준비하는 공정을 포함 하되,

상기 조명 광학계는 상기 광원 수단으로부터의 광을 투과시키는 복수의 투과성 광학 부재를 포함하고,

상기 복수의 투과성 광학 부재중 적어도 하나는 형식으로 구성되며,

상기 형식으로 구성되는 투과성 광학 부재는, 내구성에 악영향을 미치는 에너지 밀도가 높은 위치에 배치됨과 아울러, 상 기 조명 광학계에 형성되는 집광점 근처에 배치되는 것을 특징으로 하는 노광 장치의 제조 방법.

## 청구항 30.

마스크상의 패턴을 감광성 기판상에 노광하는 노광 장치의 제조 방법에 있어서,

소정의 파장의 광을 공급하는 광원 수단을 준비하는 공정과,

해당 광원 수단으로부터의 광을 소정의 회로 패턴이 형성된 마스크상으로 유도하는 조명 광학계를 준비하는 공정을 포함 하되,

상기 조명 광학계는 상기 광원 수단으로부터의 광을 투과시키는 복수의 투과성 광학 부재를 포함하고,

상기 복수의 투과성 광학 부재중 적어도 하나는 형식으로 구성되며,

상기 형식으로 구성되는 투과성 광학 부재는, 내구성에 악영향을 미치는 에너지 밀도가 높은 위치에 배치됨과 아울러, 소정의 에너지 밀도를 초과하는 위치에 배치되는 것을 특징으로 하는 노광 장치의 제조 방법.

#### 청구항 31.

소정의 파장의 광을 공급하는 광원 수단을 준비하는 공정과,

해당 광원 수단으로부터의 광을 소정의 회로 패턴이 형성된 마스크상으로 유도하는 조명 광학계를 준비하는 공정을 포함하되,

상기 조명 광학계는 상기 광원 수단으로부터의 광을 투과시키는 복수의 투과성 광학 부재를 포함하고,

상기 복수의 투과성 광학 부재중 적어도 하나는 형식으로 구성되며,

상기 형식으로 구성되는 투과성 광학 부재는, 내구성에 악영향을 미치는 에너지 밀도가 높은 위치에 배치됨과 아울러, 광속 단면의 면적이 작은 위치에 배치되는 것을 특징으로 하는 노광 장치의 제조 방법.

#### 청구항 32.

제 27 항 내지 31 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광원 수단은, 250nm 이하의 파장의 광을 공급하는 것을 특징으로 하는 노광 장치의 제조 방법.

#### 청구항 33.

소정의 파장의 광을 공급하는 광원 수단과, 해당 광원 수단으로부터의 광을 피조명 물체상으로 유도하는 조명 광학계를 포함하되,

상기 조명 광학계는, 상기 광원 수단으로부터의 광을 투과시키는 복수의 투과성 광학 부재를 포함하고,

상기 복수의 투과성 광학 부재중 적어도 하나는 형식으로 구성되며,

상기 형식으로 구성되는 투과성 광학 부재는, 내구성에 악영향을 미치는 에너지 밀도가 높은 위치에 배치되는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

#### 청구항 34.

소정의 파장의 광을 공급하는 광원 수단과, 해당 광원 수단으로부터의 광을 피조명 물체상으로 유도하는 조명 광학계를 포함하되,

상기 조명 광학계는, 상기 광원 수단으로부터의 광을 투과시키는 복수의 투과성 광학 부재를 포함하고,

상기 복수의 투과성 광학 부재중 적어도 하나는 형식으로 구성되며,

상기 형식으로 구성되는 투과성 광학 부재는, 소정의 에너지 밀도를 초과하는 위치에 배치되는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

#### 청구항 35.

소정의 파장의 광을 공급하는 광원 수단과, 해당 광원 수단으로부터의 광을 피조명 물체상으로 유도하는 조명 광학계를 포함하되,

상기 조명 광학계는, 상기 광원 수단으로부터의 광을 투과시키는 복수의 투과성 광학 부재를 포함하고,

상기 복수의 투과성 광학 부재중 적어도 하나는 형식으로 구성되며,

상기 형식으로 구성되는 투과성 광학 부재는, 내구성에 악영향을 미치는 에너지 밀도가 높은 위치에 배치됨과 아울러, 상기 조명 광학계내에 형성되는 집광점근처에 배치되는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

#### 청구항 36.

소정의 파장의 광을 공급하는 광원 수단과, 해당 광원 수단으로부터의 광을 피조명 물체상으로 유도하는 조명 광학계를 포함하되,

상기 조명 광학계는, 상기 광원 수단으로부터의 광을 투과시키는 복수의 투과성 광학 부재를 포함하고,

상기 복수의 투과성 광학 부재중 적어도 하나는 형식으로 구성되며,

상기 형식으로 구성되는 투과성 광학 부재는, 내구성에 악영향을 미치는 에너지 밀도가 높은 위치에 배치됨과 아울러, 광속 단면의 면적이 작은 위치에 배치되는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

#### 청구항 37.

소정의 파장의 광을 공급하는 광원 수단과, 해당 광원 수단으로부터의 광을 피조명 물체상으로 유도하는 조명 광학계를 포함하되,

상기 조명 광학계는, 상기 광원 수단으로부터의 광을 투과시키는 복수의 투과성 광학 부재를 포함하고,

상기 복수의 투과성 광학 부재중 적어도 하나는 형식으로 구성되며,

상기 형식으로 구성되는 투과성 광학 부재는, 내구성에 악영향을 미치는 에너지 밀도가 높은 위치에 배치됨과 아울러, 광속이 작아지는 위치에 배치되는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

#### 청구항 38.

제 33 항 또는 제 34 항에 있어서,

상기 에너지 밀도가 높은 위치는, 미리 고려된 배치인 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

#### 청구항 39.

소정의 파장의 광을 공급하는 광원 수단과, 해당 광원 수단으로부터의 광을 피조명 물체상으로 유도하는 조명 광학계를 포함하되,

상기 조명 광학계는, 상기 광원 수단으로부터의 광을 투과시키는 복수의 투과성 광학 부재를 포함하고,

상기 복수의 투과성 광학 부재중 적어도 하나는 형식으로 구성되며,

상기 형식으로 구성되는 투과성 광학 부재는, 내구성에 악영향을 미치는 에너지 밀도가 높은 위치에 배치됨과 아울러, 소정의 에너지 밀도를 초과하는 위치에 배치되는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

#### 청구항 40.

제 33 항 내지 제 39 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 광원 수단은, 250nm 이하의 파장의 광을 공급하는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치.

#### 청구항 41.

피조명 물체를 조명하는 조명 광학 장치의 제조 방법에 있어서,

소정의 파장의 광을 공급하는 광원 수단을 준비하는 공정과,  
 해당 광원 수단으로부터의 광을 상기 피조명 물체로 유도하는 조명 광학계를 준비하는 공정을 포함하되,  
 상기 조명 광학계는, 상기 광원 수단으로부터의 광을 투과시키는 복수의 투과성 광학 부재를 포함하고,  
 상기 복수의 투과성 광학 부재중 적어도 하나는 형식으로 구성되며,  
 상기 형식으로 구성되는 투과성 광학 부재는, 내구성에 악영향을 미치는 에너지 밀도가 높은 위치에 배치되는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치의 제조 방법.

#### 청구항 42.

피조명 물체를 조명하는 조명 광학 장치의 제조 방법에 있어서,  
 소정의 파장의 광을 공급하는 광원 수단을 준비하는 공정과,  
 해당 광원 수단으로부터의 광을 상기 피조명 물체로 유도하는 조명 광학계를 준비하는 공정을 포함하되,  
 상기 조명 광학계는, 상기 광원 수단으로부터의 광을 투과시키는 복수의 투과성 광학 부재를 포함하고,  
 상기 복수의 투과성 광학 부재중 적어도 하나는 형식으로 구성되며,  
 상기 형식으로 구성되는 투과성 광학 부재는, 소정의 에너지 밀도를 초과하는 위치에 배치되는 것을 특징으로 하는 조명 광학 장치의 제조 방법.

#### 청구항 43.

피조명 물체를, 소정의 파장을 갖는 광으로 조명하는 조명 광학계를 제조하는 방법에 있어서,  
 상기 조명 광학계를 구성하는 복수의 광학 부재내의 임의의 소정의 광학 부재에 관한 광속의 에너지 밀도를 계산하는 공정과,  
 상기 에너지 밀도에 따라 상기 소정의 광학 부재에 관한 재료를 결정하는 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는 조명 광학계의 제조 방법.

#### 청구항 44.

제 43 항에 있어서,  
 상기 소정의 광학 부재는 형식을 포함하는 것을 특징으로 하는 조명 광학계의 제조 방법.

#### 청구항 45.

제 43 항 또는 제 44 항에 있어서,  
 상기 피조명 물체는, 감광성 기판을 노광하기 위한 소정의 패턴을 갖는 마스크를 포함하는 것을 특징으로 하는 조명 광학계의 제조 방법.

#### 청구항 46.

마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 장치를 제조하는 방법에 있어서,  
 상기 마스크를 조명하는 조명 광학계를 준비하는 공정과,

상기 마스크의 패턴 상을 상기 감광성 기판에 투영하는 투영 광학계를 준비하는 공정  
을 포함하되,

상기 조명 광학계를 준비하는 공정은,

상기 조명 광학계를 구성하는 복수의 광학 부재내의 임의의 소정의 광학 부재에 관한 광속의 에너지 밀도를 계산하는 공  
정과,

상기 에너지 밀도에 따라 상기 소정의 광학 부재에 관한 재료를 결정하는 공정을 포함하는 것을 특징으로 하는  
노광 장치의 제조 방법.

#### 청구항 47.

제 46 항에 있어서,

상기 소정의 광학 부재는 형석을 포함하는 것을 특징으로 하는 노광 장치의 제조 방법.

#### 청구항 48.

청구항 46 또는 청구항 47에 기재된 방법에 의해서 제조된 노광 장치를 이용하여 반도체 소자를 제조하는 방법에 있어  
서,

상기 마스크를 조명하는 조명 공정과,

상기 마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 공정

을 포함하는 것을 특징으로 하는 반도체 소자의 제조 방법.

#### 청구항 49.

청구항 46 또는 청구항 47에 기재된 방법에 의해서 제조된 노광 장치를 이용한 노광 방법에 있어서,

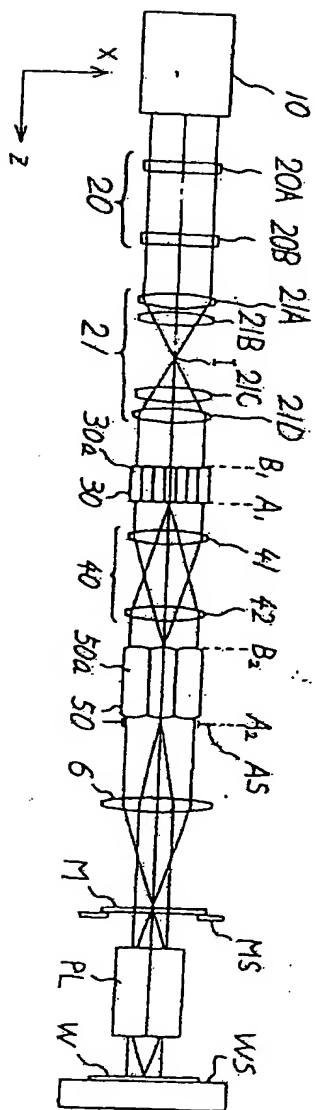
상기 조명 광학계를 이용하여 상기 마스크를 조명하는 조명 공정과,

상기 마스크의 패턴을 감광성 기판에 노광하는 노광 공정

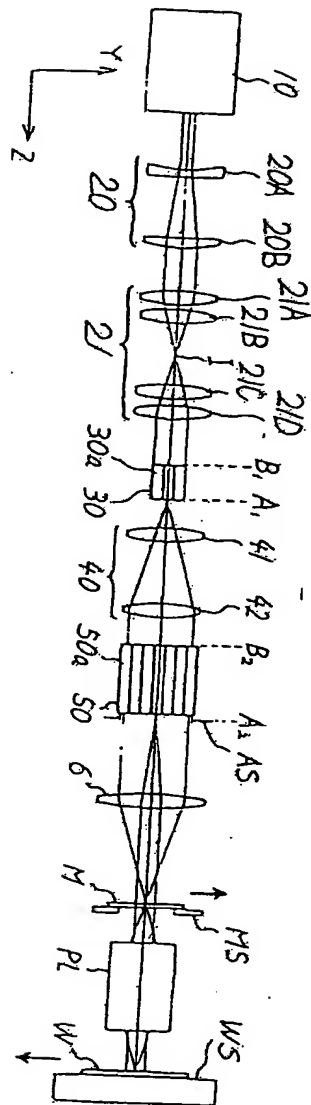
을 포함하는 것을 특징으로 하는 노광 방법.

도면

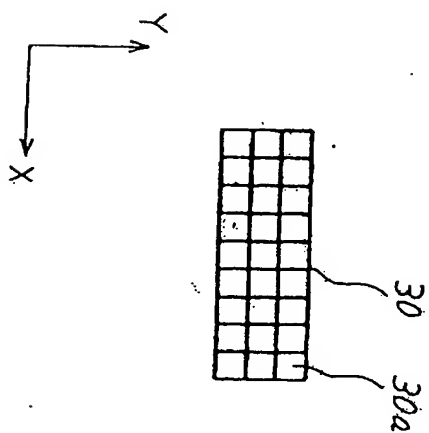
도면1a



도면1b

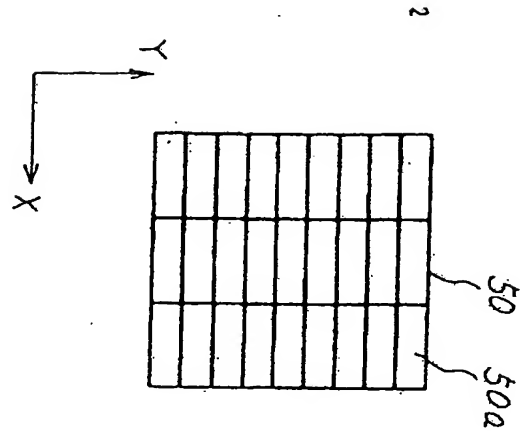


도면2a





도면2b





도면3c

